

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 : B29C 67/00	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/31326 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 23. November 1995 (23.11.95)
------------------------------------------------------------	----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP95/01742

(22) Internationales Anmeldedatum: 9. Mai 1995 (09.05.95)

(30) Prioritätsdaten:
P 44 16 901.9 13. Mai 1994 (13.05.94) DE
P 44 16 988.4 13. Mai 1994 (13.05.94) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): EOS
GMBH ELECTRO OPTICAL SYSTEMS [DE/DE];
Pasinger Strasse 2, D-82152 Planegg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SERBIN, Jürgen [DE/DE];
Wandlhamer Strasse 22a, D-82166 Gräfelfing (DE).
REICHLE, Johannes [DE/DE]; Stiftsbogen 45, D-81375
München (DE). LANGER, Hans, J. [DE/DE]; Am Wasser-
bogen 46, D-82166 Gräfelfing (DE).

(74) Anwälte: PRÜFER, Lutz, H. usw.; Harthausen Strasse 25d, D-
81545 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE,
CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.

(54) Title: PROCESS AND DEVICE FOR MANUFACTURING THREE-DIMENSIONAL OBJECTS

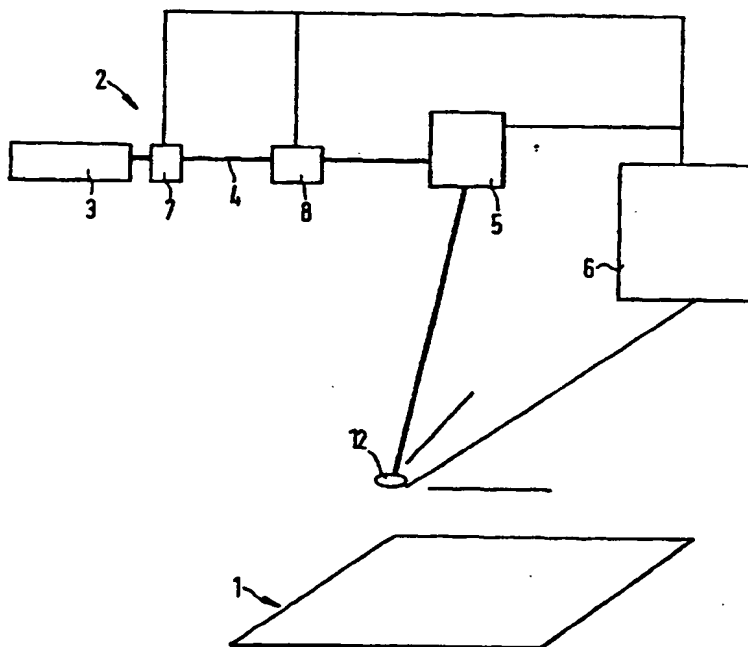
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM HERSTELLEN EINES DREIDIMENSIONALEN OBJEKTES

(57) Abstract

When producing an object by successively consolidating layers of material (1) at the corresponding positions of the object, the problem arises that the speed of manufacture is limited, since the scanning speed or the laser power of the light beam (4) guided over the material layer (1) may not be increased at will while holding the focus required to achieve accurate resolution. In order to solve this problem, a variable focusing unit (8) is provided in the light beam (4) for changing the focus of the light beam (4) while a layer (1) is consolidated. One can thus operate in different areas of the layer (1) with different focus, laser power and scanning speeds.

(57) Zusammenfassung

Bei der Herstellung eines Objektes durch aufeinanderfolgendes Verfestigen von Materialschichten (1) an den jeweiligen dem Objekt entsprechenden Stellen tritt das Problem auf, daß die Herstellungsgeschwindigkeit beschränkt ist, da bei einer für die genaue Auflösung benötigten Bündelung des zur Verfestigung verwendeten Lichtstrahles (4) die Scan-Geschwindigkeit oder die Laserleistung, mit der der Lichtstrahl über die Materialschicht (1) geführt wird, nicht beliebig erhöht werden kann. Dieses Problem wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß im Lichtstrahl (4) eine variable Fokuseinheit (8) vorgesehen ist, mittels der die Bündelung des Lichtstrahles (4) bei der Verfestigung einer Schicht (1) verändert wird; damit kann in verschiedenen Bereichen der Schicht (1) mit unterschiedlicher Fokussierung, Laserleistung und Scan-Geschwindigkeit gearbeitet werden.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen eines
dreidimensionalen Objektes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 oder 11, bzw. eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruches 15 oder 16.

Eine derartige Vorrichtung bzw. ein derartiges Verfahren ist unter dem Begriff "Stereographie" bekannt und kann, wie beispielsweise in der EP-A-0 171 069 beschrieben, durch schichtweises Verfestigen eines flüssigen, photopolymerisierbaren Materials mittels eines gebündelten Laserstrahles erfolgen. Ebenso kann dieses Verfahren auch durch Sinterung von Pulver mittels des Laserstrahles durchgeführt werden (siehe EP-A-0 287 657). In allen Fällen tritt das Problem auf, daß die Herstellungsgeschwindigkeit nicht beliebig erhöht werden kann, da bei vorgegebener Bündelung des Laserstrahles eine vom Typ des Lasers und des zu verfestigenden Materiales abhängige Scangeschwindigkeit des Laserstrahles nicht überschritten werden kann. Auch kann eine eventuelle Dejustage des Laserstrahles nicht festgestellt werden (siehe EP-A-0 287 657). In allen Fällen tritt das Problem auf, daß beispielsweise durch Erschütterungen, Alterung des Lasers oder sonstige Einwirkun-

- 2 -

gen eine Dejustierung des Strahles oder einer Verschlechterung der Strahlenqualität stattfindet und damit die Herstellungsgenauigkeit verschlechtert wird.

Aus der WO 88/02677 ist ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 und 11 und eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruches 15 und 16 bekannt.

Aus der EP 0 375 097 A2 ist eine Vorrichtung bekannt, die eine Lichtquelle mit Ablenkenkspiegeln aufweist und die einen einzelnen Positionsdetektor aufweist, der automatisch zu Punkten eines Gitters auf einer Arbeitsoberfläche bewegt wird. An den jeweiligen Punkten werden die Anweisungen an die Ablenkspiegel gespeichert, die notwendig sind, damit ein Strahl der Lichtquelle die Punkte erreicht. Dadurch ist eine Kalibrierung der Ablenkspiegel möglich. Weiterhin ist eine stereolithographische Vorrichtung mit einem Harztank bekannt, bei der seitlich des Harztanks zwei Sensoren angebracht sind, um das Intensitätsprofil des Strahles zu messen.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, die Geschwindigkeit und Genauigkeit bei der Herstellung des Objektes zu verbessern und eine konstante Qualität bei der Herstellung des Objektes sicherzustellen. Ferner soll ein effizienter Betrieb auch bei Einsatz von gepulsten Lasern möglich sein.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 oder 11 bzw. durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 15 oder 16 gelöst.

Erfindungsgemäß wird der zur Verfestigung verwendete Strahl möglichst unmittelbar über der Oberfläche der Materialschicht, also unmittelbar vor der Einwirkung auf das Material, vorzugsweise an einer Mehrzahl von über die Schicht verteilten Stellen gemessen und mit Referenzwerten verglichen. Damit kann eine eventuelle Verstaubung oder Dejustierung der Optik, ein Defekt der optischen oder elektronischen Komponenten zur Ein-

- 3 -

stellung des Strahles und eine Strahländerung aufgrund von Alterungserscheinungen festgestellt, angezeigt und gegebenenfalls korrigiert werden.

Erfindungsgemäß läßt sich die Bündelung des zur Verfestigung verwendeten Strahles verändern und messen, so daß je nach dem zu verfestigenden Bereich der Schichten, dem Typ des verwendeten Lasers und des Materiales jeweils eine bezüglich der Herstellungsgeschwindigkeit und Genauigkeit optimale Bündelung und Ausrichtung des Strahles eingestellt werden kann. Ferner kann eine eventuelle Verstaubung oder Dejustierung der Optik, ein Defekt der optischen oder elektronischen Komponenten zur Einstellung des Strahles und eine Strahländerung aufgrund von Alterungserscheinungen festgestellt, angezeigt und gegebenenfalls korrigiert werden.

Die Erfindung wird im weiteren anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die Figuren beschrieben.

Von den Figuren zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung;
- Fig. 2 eine Darstellung des Prinzips zur Veränderung der Bündelung des Strahles;
- Fig. 3 eine Darstellung der je nach zu verfestigendem Bereich unterschiedlichen Bündelung des Strahles vorzugsweise bei Verwendung eines gepulsten Lasers;
- Fig. 4 eine perspektivische, schematische Darstellung einer Positioniervorrichtung für einen erfindungsgemäßen Sensor;
- Fig. 5 eine Darstellung einer ersten Ausführungsform des Sensors; und

Fig. 6 eine Darstellung einer zweiten Ausführungsform des Sensors.

Die Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Fig. 1 zeigt eine Schicht 1 eines mittels elektromagnetischer Strahlung verfestigbaren Materiales, beispielsweise einer polymerisierbaren Flüssigkeit oder Paste oder eines sinterbaren Pulvermaterials, sowie eine über dieser Schicht angeordnete Vorrichtung 2 zum Verfestigen des Materiales der Schicht 1 an den dem herzustellenden Objekt entsprechenden Stellen. Die Verfestigungsvorrichtung 2 weist eine Strahlungsquelle 3 in Form eines Lasers auf, die einen gebündelten Lichtstrahl 4 auf eine Ablenkeinrichtung 5 richtet, mittels der der Lichtstrahl 4 auf die gewünschten Stellen der Schicht 1 abgelenkt werden kann. Zu diesem Zweck ist die Ablenkeinrichtung mit einer Steuereinheit 6 zur entsprechenden Steuerung der Ablenkeinrichtung 5 verbunden.

Zwischen der Strahlungsquelle 3 und der Ablenkeinrichtung 5 ist dem Lichtstrahl 4 nacheinander ein Modulator 7 und eine variable Fokuseinrichtung 8 angeordnet, die ebenfalls mit der Steuereinheit 6 zur Steuerung in der weiter unten beschriebenen Weise verbunden sind. Der Modulator kann beispielsweise als akusto-optischer, elektro-optischer oder mechanischer Modulator ausgebildet sein und dient als "Schalter" zum Durchschalten bzw. Unterbrechen des Strahles 4.

Die variable Fokuseinrichtung 8 dient dazu, die Bündelung des Strahles 4 zu verändern. Zu diesem Zweck weist sie in der in Fig. 2 genauer dargestellten Weise in Richtung des Strahles 4 eine Zerstreuungslinse 9 und nachfolgend eine Sammellinse 10 auf. Die Sammellinse 10 ist in Richtung des Strahles 4 beispielsweise zwischen der gestrichelten Position in Fig. 2 und der in durchgezogenen Linien gezeichneten Position positionierbar und bewirkt damit je nach ihrer Position eine Veränderung des Fokus und damit des Durchmessers des Strahles an einer Arbeits- oder Referenzebene 11, die beispielsweise die Ober-

- 5 -

fläche der Schicht 1 sein kann. Die Verschiebung der Sammellinse 10 erfolgt durch eine (nicht gezeigte) Verschiebevorrichtung unter Verwendung eines Schrittmotors oder Servomotors, die mit der Steuereinheit 6 verbunden ist. Anstelle der Anordnung mit zwei Linsen 9, 10 kann auch jede andere geeignete Mehrlinsenanordnung verwendet werden, bei der die Fokusänderung durch Verschieben von zwei Linsen relativ zueinander erfolgt. Anstatt der variablen Fokuseinheit 8 kann die Ablenkeinrichtung 5 auch Umlenkspiegel mit einem einstellbaren, variablen Krümmungsradius aufweisen. In diesem Fall kann die Bündelung des Strahles 4 durch Ändern des Krümmungsradius der Umlenkspiegel verändert werden.

Zwischen der Ablenkeinrichtung 5 und der Schicht 1 ist ferner ein Sensor 12 angeordnet, der mittels der in Fig. 4 näher dargestellten Positioniervorrichtung 13 in einer Ebene parallel zu und vorzugsweise unmittelbar oberhalb der Schicht 1 an jede Stelle oberhalb der Schicht 1 verschoben werden kann. Die Positioniervorrichtung 13 ist als X, Y-Positioniervorrichtung ausgebildet, wobei der Sensor 12 in einer ersten X-Richtung entlang der Oberseite eines sich in X-Richtung über die Schicht 1 erstreckenden Abstreifers 14 verschiebbar ist, der wiederum in Y-Richtung über die Schicht 1 zum Einstellen einer gewünschten Schichtdicke des Materiales verschoben werden kann. Gemäß einer anderen Ausführungsform kann der Sensor aber auch unabhängig vom Abstreifer positioniert werden. Der Ausgang des Sensors ist mit der Steuereinheit 6 verbunden.

Eine erste Ausführungsform des Sensors 12 ist in Fig. 5 dargestellt. Der Sensor 12 nach Fig. 5 ist als Quadrantensensor mit einem in jedem Quadranten angeordneten lichtempfindlichen Element in Form einer Photodiode 15, 16, 17, 18 ausgebildet. Die Photodiode 18 eines Quadranten ist mittels einer strahlungsundurchlässigen Abdeckung, beispielsweise eines Metallplättchens 19, abgedeckt, in deren Mitte sich eine Blendenöffnung 20 befindet. Gemäß einer in Fig. 6 gezeigten zweiten Ausführungsform ist der Sensor 12 als Einzelsensor mit nur einem einzigen

- 6 -

Feld ausgebildet, wobei in dem Feld ein lichtempfindliches Element in Form einer Photodiode 21 angeordnet ist, die wiederum mit einer strahlungsundurchlässigen Abdeckung, beispielsweise einem Metallplatten, bis auf eine zentrale Blendenöffnung abgedeckt ist. Der Durchmesser der Blendenöffnung 20, 23, ist etwa 20 bis 50µm, vorzugsweise 35µm.

Im Betrieb wird zunächst der Laserstrahl 4 bezüglich seiner Position, Leistung und seines Durchmessers gemessen. Die Positionsbestimmung erfolgt dabei beispielsweise mittels des in Fig. 5 gezeigten Sensors 12 dadurch, daß der Sensor 12 an einer bestimmten definierten X, Y-Stelle positioniert wird und die Ablenkeinrichtung 5 von der Steuereinheit 6 so gesteuert wird, daß der abgelenkte Strahl 4 den Sensor 12 überstreicht und dabei vom Feld der Photodiode 15 zu dem in der Photodiode 16 wandert. Dabei werden die von beiden Photodioden abgegebenen Ausgangssignale verglichen; bei Gleichheit entspricht die Position des Strahles 4 genau dem Übergang zwischen den beiden Photodiodenfeldern und damit der Mittenposition des Sensors 12. Dieselbe Messung wird auch für den Übergang von der Photodiode 15 zur Photodiode 17 vorgenommen. Durch Vergleich der erhaltenen Positionsdaten mit der entsprechenden Positionsvorgabe für die Ablenkeinrichtung 5 wird festgestellt, ob die Steuerung für den Strahl 4 korrekt ist oder ob eine Dejustierung vorliegt. Im letzteren Fall wird eine Korrektur der Steuerung in der Steuereinheit 6 oder auch eine Neujustage der Vorrichtung vorgenommen. Die Positionsmessung wird durch Verfahren des Sensors 12 an über die Schichtoberfläche 1 verteilte Positionen mittels der Positioniervorrichtung 13 an beliebigen Stellen innerhalb des Belichtungsfeldes vorgenommen, so daß die Positioniergenauigkeit an der Verfestigungsvorrichtung 2 exakt bestimmbar ist. Ebenso ist es allerdings auch möglich, nur an ausgewählten Punkten, beispielsweise an zwei Punkten, zu messen, um eine globale Drift beispielsweise aufgrund von Temperaturänderung festzustellen. Diese kann wiederum durch entsprechende Korrektur der Steuereinheit 6

- 7 -

bzw. der darin gespeicherten Steuersoftware kompensiert werden.

Die Leistung des Strahles 4 kann durch direkte Auswertung der Ausgangssignale der Photodioden 15, 16 und 17 deren Amplitude der Leistung entspricht, vorgenommen werden. Hier ist auch der Einsatz von Pyroelementen denkbar. Durch Vergleich mit Sollwerten kann wiederum ein Fehler in der Verfestigungsvorrichtung 2 festgestellt werden, beispielsweise eine Verstaubung der Optik, eine Alterung oder auch ein Ausfall von optischen oder elektronischen Komponenten.

Für die Messung des Durchmessers bzw. des Fokus des Strahles 4 wird die Ablenkeinrichtung 5 und/oder die Positioniervorrichtung 13 so gesteuert, daß der abgelenkte Strahl 4 die Blendenöffnung 20 des Sensors nach Fig. 5 oder die Blendenöffnung 23 des Sensors nach Fig. 6 in zwei Koordinatenrichtungen überstreicht. Dadurch wird das Intensitätsprofil des Strahles 4 abgetastet und aus den gewonnenen Intensitätsdaten des Profils der Fokus bzw. Durchmesser des Strahles 4 berechnet. Diese Messung kann im gesamten Belichtungsfeld oder auch nur an ausgewählten Punkten, beispielsweise in Verbindung mit der Leistungsmessung, durchgeführt werden. Durch Vergleich mit entsprechenden Sollwerten kann wiederum eine Abweichung beispielsweise aufgrund der Alterung des Lasers oder einer Dejustage des optischen Systems festgestellt werden. In diesem Fall kann in gewissem Rahmen eine Korrektur durch Veränderung des Fokus mittels Ansteuerung der variablen Fokueinheit 8 vorgenommen werden.

Bei Verwendung des in Fig. 6 gezeigten Sensors 12 wird die Position und Leistung des Strahles 4 aufgrund von Berechnungen ermittelt, und zwar die Position durch Bestimmung des Intensitätsmaximums und die Leistung durch Integration des Profils. Derartige Rechenverfahren sind bekannt, so daß sie hier nicht näher erläutert werden müssen.

- 8 -

Nach der Einstellung und Messung des Strahles 4 wird eine Materialschicht 1 aufgetragen und durch gezieltes Bestrahlen der Schicht 1 mittels des abgelenkten Strahles 4 an den dem Objekt entsprechenden Punkten verfestigt. In Fig. 3 ist ein Bereich 24 dargestellt, der beispielhaft die zu verfestigenden Stellen des Objektes dieser Schicht umfassen soll. Dieser Bereich wird für die Verfestigung in einen äußeren Hüllbereich 25 und einen inneren Kernbereich 26 aufgeteilt, wobei der Hüllbereich 25 den Kernbereich 26 vorzugsweise vollständig umschließt. Zur Verfestigung steuert die Steuereinheit 6 die variable Fokuseinheit 8, die Ablenkeinrichtung 5 und den Laser 3 derart, daß die Schicht 1 in der in der Fig. 3 durch die kleinen Kreise angedeuteten Weise im Hüllbereich 25 mit einem kleinen Strahldurchmesser bzw. Fokus und im Kernbereich 26, angedeutet durch die größeren Kreise, mit einem größeren Strahldurchmesser bzw. Fokus bestrahlt wird. Damit wird im Hüllbereich eine feinere und genauere Verfestigung des Materials im Hüllbereich 25, der die Oberfläche bzw. die Kontur des Objektes bildet, erreicht. Wird gleichzeitig gemäß einer bevorzugten Weiterbildung die Ablenkeinrichtung 5 so gesteuert, daß die Geschwindigkeit, mit der der abgelenkte Strahl 4 über die Schicht 1 streicht (d.h. die Scan-Geschwindigkeit), im Kernbereich 26 höher als im Hüllbereich 25 ist, dann läßt sich auch die Herstellungszeit wesentlich verkürzen. Diese Maßnahme ist insbesondere bei hohen Leistungen des Lasers 3 sinnvoll, da dann auch bei größerem Strahldurchmesser oder Fokus eine ausreichende Leistungsdichte vorhanden ist, um eine Verfestigung auch bei höheren Scan-Geschwindigkeiten zu erreichen. Bei Einsatz einer Strahlungsquelle mit einstellbarer Leistung kann in diesem Fall die Leistung bei der Verfestigung des Hüllbereiches 25 verringert werden, um die Energie- bzw. Leistungsdichte auf einen für die Verfestigung geeigneten Wert einzustellen.

Eine besonders bevorzugte Anwendung findet das oben beschriebene Verfahren bei Verwendung eines gepulsten Lasers als Strahlungsquelle 3. Die Pulsrate derartiger Laser ist in der

- 9 -

Regel zu niedrig um bei kleinem Fokus hohe Scan-Geschwindigkeiten zu erzielen. Vielmehr werden dann nur noch einzelne voneinander beabstandete Stellen verfestigt. Andererseits nimmt die mittlere Leistung dieses Lasers ab einer bestimmten Pulsrate ab. Weiterhin ist die Pulsdauer von beispielsweise frequenzvervielfachten FK-Lasern sehr kurz (ca. 30ns). Die Einstellung der in das Material eingebrachten Energie- bzw. Leistungsdichte ist nicht mehr über die Scan-Geschwindigkeit, sondern nur noch durch Abschwächung, die Repetitionsrate des Lasers und/oder die Einstellung des Strahldurchmessers möglich. Für einen Betrieb mit größtmöglicher Effizienz hat sich erfindungsgemäß die Einstellung des Strahldurchmessers herausgestellt. Für einen vorgegebenen Wert des Strahldurchmessers ergibt sich dann eine optimale Repetitionsrate in Verbindung mit einer maximalen Scan-Geschwindigkeit. Bei geringerer Scan-Geschwindigkeit kann man den Energieeintrag erhöhen, bei ebenso erhöhtem Überlapp zwischen den Punkten.

Erfindungsgemäß wird damit zur Erzielung einer kurzen Herstellungszeit bei trotzdem hoher Strukturauflösung bei gepulsten Lasern im Hüllbereich 25 mit kleinerem Fokus und im Kernbereich 26 mit größerem Fokus verfestigt und die Scan-Geschwindigkeit und die Repetitionsrate jeweils so eingestellt, daß in beiden Bereichen die bei jedem Puls verfestigten Bereiche 27 überlappen und damit eine durchgehende Linie verfestigt wird. Dieser Sachverhalt ist in Fig. 3 dargestellt: Da die damit zulässige Scan-Geschwindigkeit proportional zum Durchmesser des in Fig. 3 kreisförmig dargestellten Strahles oder Fokus 27 ist, kann die Scan-Geschwindigkeit im Kernbereich 26 gegenüber derjenigen des Hüllbereiches 25 um den selben Faktor erhöht werden, um den der Durchmesser im Kernbereich vergrößert ist. Außerdem sind im Kernbereich 26 auch entsprechend weniger Überstreichungen erforderlich. Damit reduziert sich die Herstellungszeit mit dem Quadrat der relativen Durchmesserergrößerung. In beiden Bereichen 25, 26 ergibt sich aus der entsprechenden Scan-Geschwindigkeit die Repetitionsrate und der Strahlfokus und damit mittlere Leistung des Lasers, so daß im

- 10 -

Ergebnis im Hüllbereich 25 mit kleinerer mittlerer Leistung und im Kernbereich 26 mit größerer mittlerer Leistung gefahren wird.

Zur Einstellung des Fokus wird von der Steuereinheit 6 je nachdem, ob die Ablenkeinrichtung 5 den Strahl 4 gerade auf den Kernbereich 26 oder den Hüllbereich 25 ablenkt, die Position der Sammellinse 10 relativ zur Zerstreuungslinse 9 durch Axialverschiebung verändert. Die entsprechenden Steuerdaten sind in der Steuereinheit 6 gespeichert. Vorzugsweise wird zunächst mit einer kleinen Fokuseinstellung der Hüllbereich 25 verfestigt, danach der Fokus vergrößert und mit der einmal eingestellten Vergrößerung der Kernbereich 26 verfestigt. Eine Messung und Korrektur der Fokuseinstellung des Strahles ist wiederum mittels des Sensors 12 in der oben dargelegten Weise möglich.

Die weiteren Schichten des Objektes werden in der gleichen Weise aufgetragen und verfestigt.

Die Messung des Strahles in der oben beschriebenen Weise kann vor der Herstellung eines Objektes, aber auch zwischen der Verfestigung einzelner Schichten oder auch in größeren Abständen, z.B. tageweise, vorgenommen werden. Festgestellte Abweichungen von zulässigen Werten können auch auf einer Anzeigevorrichtung dargestellt werden.

Als FK-Laser werden bevorzugt diodengepulste Neodym YAG-Laser oder diodengepulste Neodym YLF-Laser mit einer Leistung von etwa 300mW verwendet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts, bei dem aufeinanderfolgende Schichten eines durch elektromagnetische Strahlung verfestigbaren Materials aufgetragen und durch Bestrahlung mittels eines gebündelten Strahls an den dem Objekt entsprechenden Stellen der Schichten verfestigt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Bündelung des Strahls bei der Verfestigung verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bündelung in Abhängigkeit von der zu verfestigenden Stelle der Schicht verändert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß in einem einem Randbereich des Objekts entsprechenden ersten Bereich die Bündelung zur Bildung eines kleineren Fokus verstärkt wird und in einem einem Innenbereich des Objekts entsprechenden zweiten Bereich die Bündelung zur Bildung eines größeren Fokus verringert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Bündelung in Abhängigkeit von der Leistung der Strahlungsquelle für den gebündelten Strahl verändert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Bündelung in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit, mit der der gebündelte Strahl über die Schicht bewegt wird, verändert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine gepulste Strahlungsquelle verwendet wird und die Bündelung in Abhängigkeit von der Pulsenergie eingestellt wird.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verfestigung im ersten Bereich mit einer starken Bündelung und einer niedrigen Geschwindigkeit und im zweiten Bereich mit einer schwächeren Bündelung und einer höheren Geschwindigkeit durchgeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß im zweiten Bereich die Strahlleistung bzw. bei Verwendung eines gepulsten Lasers die mittlere Strahlleistung erhöht ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Position, die Leistung und/oder der Fokusedurchmesser des Strahls an einer Stelle vorzugsweise unmittelbar oberhalb der zu verfestigenden Schicht gemessen wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bündelung in Abhängigkeit vom Meßergebnis verändert wird.
11. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts, bei dem aufeinanderfolgende Schichten eines durch elektromagnetische Strahlung verfestigbaren Materials aufgetragen und durch Bestrahlung mittels eines gebündelten Strahls an den dem Objekt entsprechenden Stellen der Schichten verfestigt werden,

- 13 -

dadurch gekennzeichnet, daß die Position, die Leistung und/oder der Durchmesser des Strahls an einer Stelle vorzugsweise unmittelbar oberhalb der zu verfestigenden Schicht gemessen wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßergebnis mit vorgegebenen Referenzwerten verglichen wird und aufgrund des Vergleiches eine Fehleranzeige oder Korrektur des Strahls vorgenommen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung an einer Mehrzahl von Stellen oberhalb der Materialschicht vorgenommen wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahl ein Strahl eines FK-Lasers verwendet wird.

15. Vorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objekts durch aufeinanderfolgendes Verfestigen von Schichten eines durch Einwirkung elektromagnetischer Strahlung verfestigbaren Materials, mit einer Vorrichtung zum Erzeugen einer Schicht (1) des Materials, einer Strahlungsquelle (3) zur Erzeugung eines gebündelten Strahls (4) der elektromagnetischen Strahlung und einer Ablenkvorrichtung (5) zum Ablenken des gerichteten Strahls (4) auf dem Objekt entsprechende Stellen der Schicht (1),
dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Ablenkeinrichtung (5) und der Schicht (1) ein Sensor (12) zur Messung des Strahls (4) angeordnet ist.

16. Vorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objekts durch aufeinanderfolgendes Verfestigen von Schichten eines durch Einwirkung elektromagnetischer Strahlung verfestigbaren Materials, mit einer Vorrichtung zum Erzeugen

- 14 -

einer Schicht (1) des Materials, einer Strahlungsquelle (3) zur Erzeugung eines gebündelten Strahls (4) der elektromagnetischen Strahlung und einer Ablenkvorrichtung (5) zum Ablenken des gerichteten Strahls (4) auf dem Objekt entsprechende Stellen der Schicht (1),
dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle (3) einen FK-Laser aufweist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet, daß eine im Strahl (4) angeordnete variable Fokuseinheit (8) zur Veränderung der Bündelung des Strahls (4) vorgesehen ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17,
dadurch gekennzeichnet, daß der FK-Laser ein Neodym YAG-Laser oder ein Neodym YLF-Laser ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 18,
dadurch gekennzeichnet, daß die variable Fokuseinheit (8) zwischen der Strahlungsquelle (3) und der Ablenkvorrichtung (5) angeordnet ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19,
dadurch gekennzeichnet, daß die variable Fokuseinheit (8) im Strahl zwei in Axialrichtung relativ zueinander verschiebbare Linsen (9, 10) aufweist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20,
dadurch gekennzeichnet, daß im Strahl (4) ein Modulator (7) zum gesteuerten Unterbrechen bzw. Durchlassen des Strahls angeordnet ist.

- 15 -

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Fokuseinheit (8) und die Ablenkvorrichtung (5) und gegebenenfalls der Modulator (7) mit einer Steuereinheit (6) zur Veränderung des Fokus des Strahls (4) in Abhängigkeit von der Ablenkung verbunden sind.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Ablenkeinrichtung (5) und der Schicht (1) ein Sensor (12) zur Messung des Strahls (4) angeordnet ist.
24. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (12) mit einer Positioniervorrichtung (13) zum Positionieren des Sensors an einer Mehrzahl von Stellen in einer Ebene parallel zur Schicht (1) verbunden ist.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Positioniervorrichtung (13) als x, y-Positioniervorrichtung ausgebildet ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß eine sich in einer ersten Richtung (X) quer über die Schicht (1) erstreckende und in einer zweiten Richtung (Y) über die Schicht (1) verfahrbare Abstreifvorrichtung vorgesehen ist und daß der Sensor (12) an der Abstreifvorrichtung in der ersten Richtung (X) verschiebbar angeordnet ist.
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15, 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (12) zur Messung der Position, der Leistung und/oder des Durchmessers des Strahls (4) ausgebildet ist.

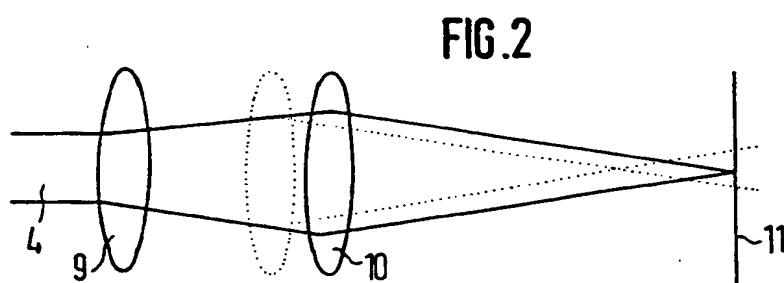
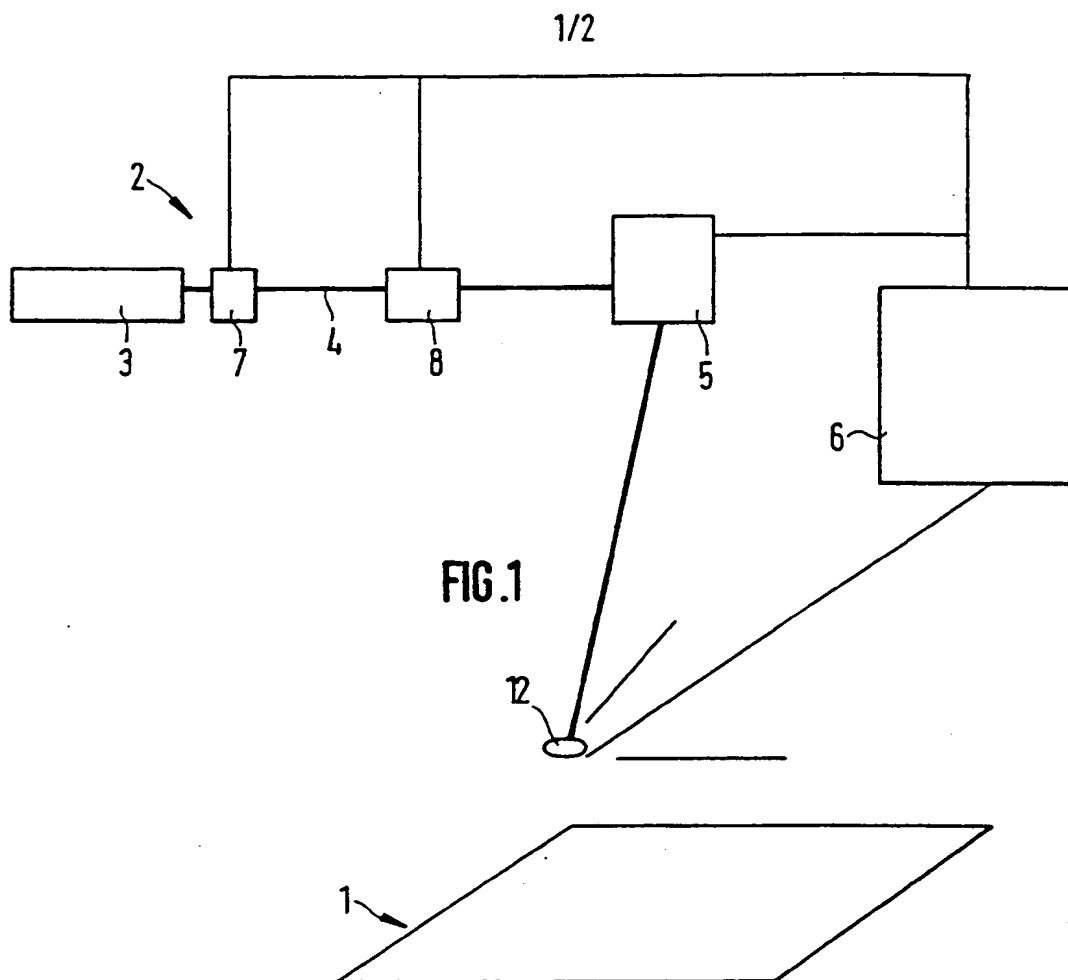
- 16 -

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15, 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (12) als Quadrantendetektor mit mindestens drei Detektorsektoren (15, 16, 17) ausgebildet ist.

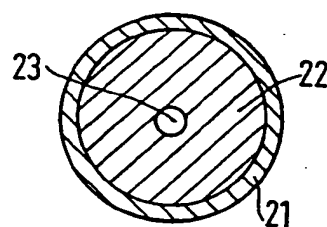
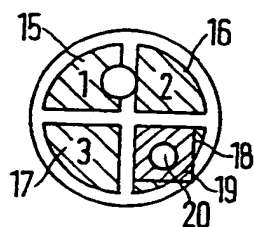
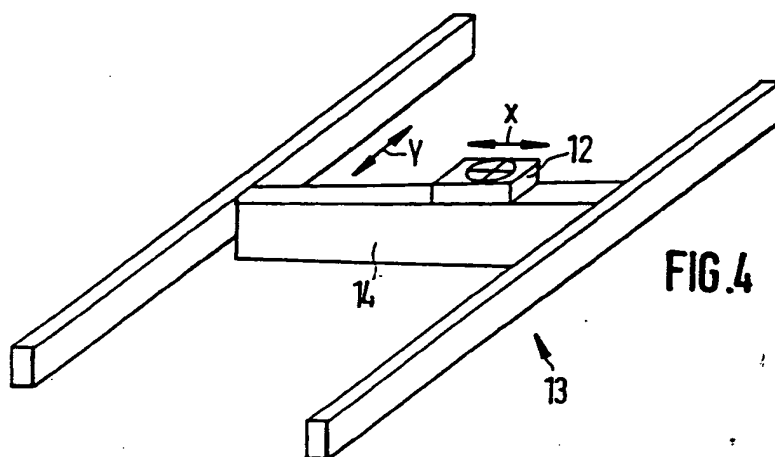
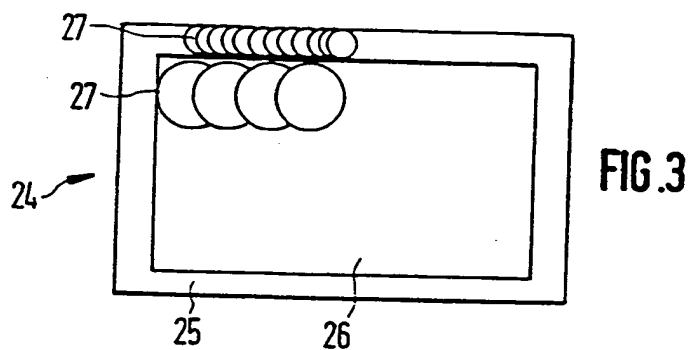
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15, 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (12) einen Einzeldetektor mit einer bis auf eine Blendenöffnung (23) strahlungsundurchlässig abgedeckten, strahlungsempfindlichen Detektoroberfläche (21) aufweist.

30. Vorrichtung nach Anspruch 28 und 29, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzeldetektor in einem der Quadranten angeordnet ist.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15, 23 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (12) und/oder die Positioniervorrichtung (13) mit der Steuereinheit verbunden sind.



2/2



ERSATZBLATT (REGEL 26)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 95/01742

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 B29C67/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 B29C G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14 no. 300 (M-991) [4243] ,28 June 1990	1-8
Y	& JP,A,02 095830 (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 6 April 1990, see abstract; figures	9-31
Y	WO-A-89 11085 (3D SYSTEMS, INC.) 16 November 1989 see the whole document	9-31
A	EP-A-0 406 513 (MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD) 9 January 1991 see claims; figures	1-3,7
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 September 1995

Date of mailing of the international search report

04.10.95.

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Mathey, X

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter national Application No

PCT/EP 95/01742

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>SYSTEMS & COMPUTERS IN JAPAN, vol. 20, no. 3, 1 March 1989 pages 58-66, XP 000071510 TAKASHI NAKAI ET AL 'FABRICATION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS USING LASER LITHOGRAPHY' see the whole document -----</p>	1-31

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/EP 95/01742

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A-8911085	16-11-89	US-A- 5059359	22-10-91
		US-A- 5058988	22-10-91
		US-A- 5123734	23-06-92
		US-A- 5059021	22-10-91
		CA-A- 1334052	24-01-95
		EP-A- 0375097	27-06-90
		EP-A- 0354637	14-02-90
		JP-T- 4505588	01-10-92
		JP-T- 4506110	22-10-92
		WO-A- 8910256	02-11-89
		US-A- 5184307	02-02-93
		US-A- 5130064	14-07-92
		US-A- 5182056	26-01-93
		US-A- 5321622	14-06-94
		US-A- 5182055	26-01-93
		US-A- 5267013	30-11-93
		US-A- 5345391	06-09-94
		US-A- 5256340	26-10-93
		DE-U- 8916157	05-05-94
		EP-A- 0338751	25-10-89
		JP-T- 4506778	26-11-92
		WO-A- 8910254	02-11-89
		US-A- 5137662	11-08-92
EP-A-406513	09-01-91	JP-A- 3042233	22-02-91
		JP-B- 6024773	06-04-94
		US-A- 5089185	18-02-92

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 95/01742

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 B29C67/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 B29C G01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14 no. 300 (M-991) [4243] ,28.Juni 1990 & JP,A,02 095830 (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 6.April 1990, siehe Zusammenfassung; Abbildungen	1-8
Y	---	9-31
Y	WO-A-89 11085 (3D SYSTEMS, INC.) 16.November 1989 siehe das ganze Dokument	9-31
A	---	1-3,7
	EP-A-0 406 513 (MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD) 9.Januar 1991 siehe Ansprüche; Abbildungen	

	-/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22.September 1995

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04.10.95

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Mathey, X

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter nales Aktenzeichen
PCT/EP 95/01742

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------

A	<p>SYSTEMS & COMPUTERS IN JAPAN, Bd. 20, Nr. 3, 1.März 1989 Seiten 58-66, XP 000071510 TAKASHI NAKAI ET AL 'FABRICATION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS USING LASER LITHOGRAPHY' siehe das ganze Dokument -----</p>	1-31
---	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 95/01742

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO-A-8911085	16-11-89	US-A- 5059359	22-10-91
		US-A- 5058988	22-10-91
		US-A- 5123734	23-06-92
		US-A- 5059021	22-10-91
		CA-A- 1334052	24-01-95
		EP-A- 0375097	27-06-90
		EP-A- 0354637	14-02-90
		JP-T- 4505588	01-10-92
		JP-T- 4506110	22-10-92
		WO-A- 8910256	02-11-89
		US-A- 5184307	02-02-93
		US-A- 5130064	14-07-92
		US-A- 5182056	26-01-93
		US-A- 5321622	14-06-94
		US-A- 5182055	26-01-93
		US-A- 5267013	30-11-93
		US-A- 5345391	06-09-94
		US-A- 5256340	26-10-93
		DE-U- 8916157	05-05-94
		EP-A- 0338751	25-10-89
		JP-T- 4506778	26-11-92
		WO-A- 8910254	02-11-89
		US-A- 5137662	11-08-92
EP-A-406513	09-01-91	JP-A- 3042233	22-02-91
		JP-B- 6024773	06-04-94
		US-A- 5089185	18-02-92